

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-176210

(43)Date of publication of application : 21.06.2002

(51)Int.Cl.

H01L 43/00

G01R 33/02

G11B 5/33

H01F 10/06

(21)Application number : 2000-375397

(71)Applicant : ALPS ELECTRIC CO LTD

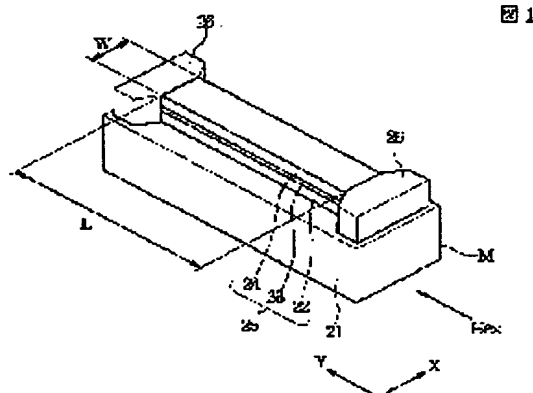
(22)Date of filing : 11.12.2000

(72)Inventor : NAKABAYASHI AKIRA

(54) MAGNETO-IMPEDANCE EFFECT ELEMENT AND METHOD FOR MANUFACTURING THE SAME**(57)Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce resistance and power consumption in a magneto-impedance effect element and to obtain efficient change in the output voltage even if a drive voltage is low, by constructing a magneto-sensitive section in such a manner that a soft magnetic section is brought into contact with a conductive section having specific resistance lower than that of the soft magnetic section.

SOLUTION: A magneto-sensitive section 25 is formed by alternately stacking soft magnetic thin films 22, 24 and a conductive thin film 23. When an alternating drive current is supplied to the section 25, the current is divided into currents flowing through the films 22, 24 and a current flowing through the film 23. As a result, the DC resistance in the section 25 is decreased when the alternating drive current flows, thereby reducing the power consumption in the element.



(19) 日本国特許庁 (J P) (12) 公開特許公報 (A) (11) 特許出願公開番号
特開2002-176210
(P2002-176210A)
(43) 公開日 平成14年6月21日 (2002.6.21)

(51) Int. Cl.⁷ 識別記号 FI 子コード (参考)
H01L 43/00 2G017
G01R 33/02 D 5E049
G11B 5/33
H01F 10/06

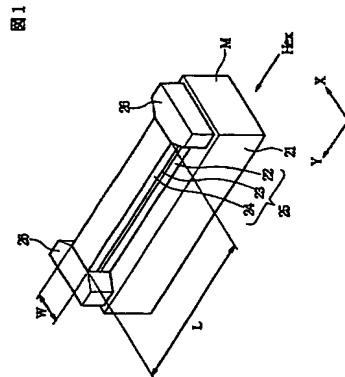
審査請求 未請求 請求項の数39 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号 特開2000-375397 (P2000-375397) 平成12年12月11日 (2000.12.11)	(71) 出願人 000010088 アルプス電気株式会社 東京都大田区豊谷大塚町1番7号 (72) 発明者 中林 英 東京都大田区豊谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内 (74) 代理人 100085433 弁理士 野▲崎▼ 剛夫 Fターム (参考) 23017 A02 A507 A039 A046 A047 A059 B403 5B249 A01 A01 B418 C002 C001
(22) 出願日	

(54) 【発明の名称】 磁気インピーダンス効果素子およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 従来の磁気インピーダンス効果素子は、直流抵抗値が高く、消費電力が大きかった。
【解決手段】 感磁部25を軟磁性薄膜22、24と導電性薄膜23とが交互に積層されたものとして形成する。感磁部25に駆動交流電流が与えられたときに、この駆動交流電流は軟磁性薄膜22、24内を流れる電流と導電性薄膜23内を流れる電流とに分れて流れる。その結果、前記駆動交流電流が流れるときの感磁部25の直流抵抗値が低くなり、磁気インピーダンス効果素子の消費電力を小さくすることができる。



【特許請求の範囲】
【請求項1】 非磁性材料からなる基板上に、磁気インピーダンス効果を有する感磁部と、前記感磁部に駆動交流電流を与える電極部とが設けられた磁気インピーダンス効果素子において、
前記感磁部は、軟磁性材料で形成された軟磁性体部、前記電極部は、導電性材料で形成された導電性体部とを有し、前記軟磁性体部より比抵抗の低い導電性体部とを有し、前記軟磁性体部と前記導電性体部とが、少なくとも部分的に接していることを特徴とする磁気インピーダンス効果素子。
【請求項2】 前記軟磁性体部と、前記導電性体部とが交互に積層されている請求項1記載の磁気インピーダンス効果素子。
【請求項3】 最上層と最下層が前記軟磁性体部であり、前記最上層と前記最下層の軟磁性体部が、少なくとも素子幅方向の端部において磁気的に結合されている請求項2記載の磁気インピーダンス効果素子。
【請求項4】 前記感磁部の上面の素子幅寸法が、前記感磁部の底面の素子幅寸法より短い請求項1ないし3のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。
【請求項5】 前記感磁部は、前記最長の表面から離れるにつれて、素子幅方向寸法が徐々に短くなる請求項4記載の磁気インピーダンス効果素子。
【請求項6】 前記軟磁性体部と導電性体部とが絶縁層によって電気的に絶縁され、前記駆動交流電流が前記導電性体部に流れる請求項1ないし5のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。
【請求項7】 駆動交流電流が与えられている前記感磁部の素子長手方向に外部磁界を印加したときに、前記感磁部の両端からの出力電圧を最大とする前記外部磁界の大きさの絶対値が400 (A/m) 以下である請求項1ないし6のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。
【請求項8】 前記感磁部の両端からの出力電圧を最大とする前記外部磁界の大きさの絶対値が320 (A/m) 以下である請求項7に記載の磁気インピーダンス効果素子。
【請求項9】 前記感磁部の両端からの出力電圧を最大とする前記外部磁界の大きさの絶対値が160 (A/m) 以下である請求項7に記載の磁気インピーダンス効果素子。
【請求項10】 前記感磁部の素子幅Wと素子長さLの比 (アスペクト比) W/Lが、0.1以下である請求項1ないし9のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。
【請求項11】 前記感磁部の素子幅Wと素子長さLの比 (アスペクト比) W/Lが、0.05以下である請求項10に記載の磁気インピーダンス効果素子。
【請求項12】 前記感磁部の素子幅Wと素子長さLの比 (アスペクト比) W/Lが、0.03以下である請求項10に記載の磁気インピーダンス効果素子。

項10に記載の磁気インピーダンス効果素子。
【請求項13】 前記軟磁性体部は、単磁区構造或いは多磁区構造を有し、各磁区において磁気メモメントの素子長手方向の成分と素子幅方向の成分を比較したときに、前記素子長手方向の成分の方が大きい磁区の総面積と、前記素子幅方向の成分の方が大きい磁区の総面積とが等しい請求項1ないし12のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。
【請求項14】 前記軟磁性体部は、単磁区構造或いは多磁区構造を有し、各磁区において磁気メモメントの素子長手方向の成分と素子幅方向の成分を比較したときに、前記素子長手方向の成分の方が大きい磁区の総面積と、前記素子幅方向の成分の方が大きい磁区の総面積より大きい請求項1ないし12のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。
【請求項15】 前記感磁部の素子長手方向と平行な方向にバイアス磁界を印加する磁性体を有する請求項1ないし14のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。
【請求項16】 前記軟磁性体部は、組成式が $F_{0.9}M_1O$ で表され、 M_1 がアルファ相を主体とした微結晶軟磁性合金薄膜である請求項1ないし15のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。ただし、 M_1 は、Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Wと希土類元素から選ばれた1種あるいは2種以上の元素であり、 h, i, j は $a, i \%$ で、 $4.5 \leq h \leq 7.0, 5 \leq i \leq 3.0, 1.0 \leq j \leq 4.0, h+i+j=10.0$ の関係を満足するものである。
【請求項17】 前記軟磁性体部は、組成式が $(Co_{1-c}Tc_c)xM_2yX_2O_z$ で表される微結晶軟磁性合金薄膜である請求項1ないし15のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。ただし、元素Tは、Fe, Niのうちのどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, Si, P, C, W, B, Al, Ga, Geと希土類元素から選ばれた1種または2種以上の元素であり、Xは、Au, Ag, Cu, Ru, Rh, Os, Ir, Pt, Pdから選ばれた1種あるいは2種以上の元素であり、組成比は、 c が、 $0 \leq c \leq 0.7, x, y, z, w$ は a の%で、 $3 \leq y \leq 3.0, 0 \leq z \leq 2.0, 7 \leq w \leq 4.0, 2.0 \leq y+z+w \leq 6.0$ の関係を満足し、残部がYである。
【請求項18】 前記軟磁性体部は、組成式が $T_{100-d-e-f-g}X_dM_2fO_g$ で表され、 b, c, d, e, f, g は a の%で、 $100-d-e-f-g \leq 1$ 種または2種以上の結晶相を主体とした微結晶軟磁性合金薄膜である請求項1ないし15のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。ただし、元素Tは、Fe, Coのうちのどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Xは、Si, Alのうちのどちらか一方あるいは両方を含む元素である。

り、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、Wから選ばれる1種または2種以上の元素であり、元素Zは、C、Nのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、Qは、Cr、Re、Ru、Rh、Ni、Pd、Pt、Auから選ばれる1種または2種以上の元素であり、d、e、f、gはa1%で、 $0 \leq d \leq 25$ 、 $1 \leq e \leq 10$ 、 $0 \leq f \leq 15$ 、 $0 \leq g \leq 100$ の関係を満足するものである。

【請求項19】 前記軟磁性体部は、組成式が $100-x-y-z-f-g-Si_0.1qMg_2Ti_0.9$ で表され、 $bcc-F_0-bcc-F_0-Co$ 、 $bcc-Co$ の1種または2種以上の結晶相を主体とした微結晶軟磁性合金薄膜である請求項1ないし15のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。ただし、元素Tは、F、Coのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、Wから選ばれる1種または2種以上の元素であり、元素Zは、C、Nのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、Qは、Cr、Re、Ru、Rh、Ni、Pd、Pt、Auから選ばれる1種または2種以上の元素であり、p、q、e、f、gはa1%で、 $8 \leq p \leq 15$ 、 $0 \leq q \leq 10$ 、 $1 \leq e \leq 10$ 、 $0 \leq f \leq 15$ 、 $0 \leq g \leq 100$ の関係を満足するものである。

【請求項20】 前記軟磁性体部は、組成式が $(F_0-1-qCo)_0.100-x-y-z(Si_1-bB)_0.1xMg_2$ で示される非晶質軟磁性合金薄膜または薄膜である請求項1ないし15のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。ただし、MはCr、Ruのうちいずれか一方、あるいは両方を含む元素であり、組成比を表すa、bは0、0.5% \leq 0.1、0.2% \leq 0.8であり、x、yはa1%で $10 \leq x \leq 35$ 、 $0 \leq y \leq 7$ の関係を満足するものである。

【請求項21】 前記軟磁性体部は、組成式が $Co_0.1T_0.9Mn_0.1$ で表され、アモルファス構造を主体とした非晶質軟磁性合金薄膜である請求項1ないし15のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。ただし、l、m、nはa1%で、 $70 \leq l \leq 90$ 、 $5 \leq m \leq 21$ 、 $6 \leq n \leq 15$ 、 $1 \leq m/n \leq 2.5$ の関係を満足するものである。

【請求項22】 前記軟磁性体部は、組成式が $Co_0.2T_0.8Mn_0.2$ で表され、アモルファス構造を主体とした非晶質軟磁性合金薄膜である請求項1ないし15のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子。ただし、a、b、cはa1%で、 $78 \leq a \leq 91$ 、 $0 \leq b \leq 10$ 、 $0 \leq c \leq 8$ の関係を満足するものである。

【請求項23】 (a) 非磁性材料からなる基板上に、軟磁性薄膜と前記軟磁性薄膜よりも比抵抗の低い導電性薄膜を交互に成膜する工程と、(b) 前記(a)工程で形成された多層膜から感磁部をパターン形成する工程と、

(c) 前記感磁部を、この感磁部の素子幅方向の静磁場中で熱処理する工程と、を有することを特徴とする磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項24】 (d) 非磁性材料からなる基板上に、軟磁性薄膜と前記軟磁性薄膜よりも比抵抗の低い導電性薄膜を交互に成膜する工程と、(e) 前記(d)の工程によって形成された多層膜を、静磁場中で熱処理する工程と、

(f) 前記軟磁性薄膜の方向を素子幅方向とするように、前記多層膜をパターン形成して感磁部を形成する工程と、を有することを特徴とする磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項25】 前記(a)または(d)の工程において、前記軟磁性薄膜を前記(c)または(e)の工程における静磁場の方向と同じ方向の静磁場中で成膜する請求項23または24に記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項26】 前記多層膜の最上層と最下層を前記軟磁性薄膜とし、前記最上層の軟磁性薄膜と前記最下層の軟磁性薄膜とを、少なくとも素子幅方向の端部において磁気的に結合させる請求項23ないし25のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項27】 前記多層膜をパターン形成する際に、前記多層膜の最上層にフォトレジストを積層し、ウェットエッチング法によって前記多層膜をエッチングすることにより、上面の素子幅方向寸法が底面の素子幅方向寸法より短い感磁部を形成する請求項23ないし26のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項28】 前記多層膜を形成するときに、前記軟磁性薄膜と導電性薄膜との間に絶縁層を形成し、前記導電性薄膜のみに接続される電極部を形成する工程を含む請求項23ないし27のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項29】 前記軟磁性薄膜を、組成式が $F_0(1-qMn)_0.1$ で表され、アモルファス構造を主体とした微結晶軟磁性合金薄膜として形成する請求項23ないし28のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。ただし、Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Wと希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、h、i、jはa1%で、 $45 \leq h \leq 70$ 、 $0 \leq i \leq 30$ 、 $10 \leq j \leq 40$ 、 $h+i+j=100$ の関係を満足するものである。

【請求項30】 前記軟磁性薄膜を、組成式が $(Co_0.1-qT_0.9)Mn_0.1$ で表される微結晶軟磁性合金薄膜として形成する請求項23ないし28のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。ただし、元素Tは、F、Co、Niのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Si、P、C、W、B、Al、Ge、Gaと希土類元素から選ばれる1種または2種以

上の元素であり、Xは、Au、Ag、Cu、Ru、Rh、Os、Ir、Pt、Pdから選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、組成比は、cが、 $0 \leq c \leq 0$ 、7、x、y、z、wはa1%で、 $3 \leq y \leq 30$ 、 $0 \leq z \leq 20$ 、 $7 \leq w \leq 40$ 、 $20 \leq y+z+w \leq 60$ の関係を満足し、端部がxである。

【請求項31】 前記軟磁性薄膜を、組成式が $100-x-y-z-f-g-XqMg_2Ti_0.9$ で表され、 $bcc-F_0-bcc-F_0-Co$ 、 $bcc-Co$ の1種または2種以上の結晶相を主体とした微結晶軟磁性合金薄膜として形成する請求項23ないし28のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。ただし、元素Tは、F、Coのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Xは、Si、Alのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、Wから選ばれる1種または2種以上の元素であり、元素Zは、C、Nのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、Qは、Cr、Re、Ru、Rh、Ni、Pd、Pt、Auから選ばれる1種または2種以上の元素であり、d、e、f、gはa1%で、 $0 \leq d \leq 25$ 、 $1 \leq e \leq 10$ 、 $0 \leq f \leq 15$ 、 $0 \leq g \leq 100$ の関係を満足するものである。

【請求項32】 前記軟磁性薄膜を、組成式が $100-p-q-r-f-g-Si_0.1qMg_2Ti_0.9$ で表され、 $bcc-F_0-bcc-F_0-Co$ 、 $bcc-Co$ の1種または2種以上の結晶相を主体とした微結晶軟磁性合金薄膜として形成する請求項23ないし28のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。ただし、元素Tは、F、Coのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、Wから選ばれる1種または2種以上の元素であり、元素Zは、C、Nのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、Qは、Cr、Re、Ru、Rh、Ni、Pd、Pt、Auから選ばれる1種または2種以上の元素であり、p、q、e、f、gはa1%で、 $8 \leq p \leq 15$ 、 $0 \leq q \leq 10$ 、 $1 \leq e \leq 10$ 、 $0 \leq f \leq 15$ 、 $0 \leq g \leq 100$ の関係を満足するものである。

【請求項33】 前記軟磁性薄膜を、組成式が $Co_0.1T_0.9Mn_0.1$ で表され、アモルファス構造を主体とした非晶質軟磁性合金薄膜として形成する請求項23ないし28のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。ただし、l、m、nはa1%で、 $70 \leq l \leq 90$ 、 $5 \leq m \leq 21$ 、 $6 \leq n \leq 15$ 、 $1 \leq m/n \leq 2.5$ の関係を満足するものである。

【請求項34】 前記軟磁性薄膜を、組成式が $Co_0.2T_0.8Mn_0.2$ で表されるアモルファス構造を主体とした非晶質軟磁性合金薄膜として形成する請求項23ないし28のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。ただし、a、b、cはa1%で、 $78 \leq a \leq 91$ 、 $0 \leq b \leq 10$ 、 $0 \leq c \leq 8$ の関係を満足するものである。

る。

【請求項35】 (g) 軟磁性材料の溶融合金を冷却ロール上に射出させて接触急冷することにより軟磁性薄膜を形成する工程と、

(h) 前記軟磁性薄膜の少なくとも一方の面に前記軟磁性薄膜よりも比抵抗の低い材料によって形成される導電性薄膜を形成する工程と、

(i) 前記(h)の工程によって形成された軟磁性薄膜を切断し、所定の値の素子幅Wと素子長さLの比(アスペクト比)W/Lにパターン形成する工程と、

(j) 前記(i)の工程によって形成された、前記軟磁性薄膜が積層された前記軟磁性薄膜を、基板上に軟磁性薄膜と導電性薄膜とが交互に積層するように、重ねる工程と、

(k) 前記軟磁性薄膜を、素子幅方向の静磁場中で熱処理する工程と、を有することを特徴とする磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項36】 前記(j)の工程において、前記軟磁性薄膜と前記導電性薄膜との間に絶縁層を形成し、また、前記(j)の工程の後に、前記導電性薄膜のみに接続される電極部を形成する工程を有する請求項35に記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項37】 前記軟磁性薄膜または前記軟磁性薄膜を、組成式が $(F_0-1-qCo)_0.100-x-y-z(Si_1-bB)_0.1xMg_2$ で示される非晶質軟磁性合金薄膜または薄膜として形成する請求項23ないし28、35、36のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。ただし、MはCr、Ruのうちいずれか一方、あるいは両方を含む元素であり、組成比を表すa、bは0、0.5% \leq 0.1、0.2% \leq 0.8であり、x、yはa1%で $10 \leq x \leq 35$ 、 $0 \leq y \leq 7$ の関係を満足するものである。

【請求項38】 前記感磁部の素子長手方向に、駆動交流電流を与えつつ外部磁界を印加したときに、前記感磁部の両端からの出力電圧を最大とする前記外部磁界の大ききの絶対値が 400 (A/m) 以下になるように、素子幅Wと素子長さLの比(アスペクト比)W/Lを設定して前記感磁部をパターン形成する請求項23ないし37のいずれかに記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【請求項39】 前記感磁部のアスペクト比を0.1以下に設定する請求項38記載の磁気インピーダンス効果素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、磁界センサとして利用できる磁気インピーダンス効果素子に係り、特に、磁気インピーダンス効果素子の抵抗値を低くできて、消費電力を低くでき、また、バイアス磁界を小さくして、良好な世界検出感度を有する磁気インピーダンス効

果素子及びその製造方法に関する。

【0002】
【従来の技術】近年、情報機器、計測機器、制御機器などの急速な発展に伴って、従来の磁界検出型のものより更に小型、高感度且つ高速度特性（高周波動作）の磁界センサが求められ、磁気インピーダンス効果（Magneto-impedance-Effect）を有する素子（磁気インピーダンス効果素子）が注目されるようになってきている。

【0003】磁気インピーダンス効果素子は、微小交流電流をワイヤー状、リボン状、または薄膜状に形成された磁性線に印加することによって生じるインピーダンスによる出力電圧が外部印加磁界によって変化することを基本原理としている素子である。

【0004】外部磁界の印加による軟磁性材料からなる磁界部のインピーダンスの変化は、磁性材料に交流電流を流したときに、交流電流がその表面近くを流れようとする「表皮効果」が、外部磁界によって変化するためであることが知られている。

【0005】図29は、従来の磁気インピーダンス効果素子の斜視図である。図29の磁気インピーダンス効果素子Mは、アルミニウムカーバイドなどの非磁性材料からなる基板11上に、軟磁性材料をスパッタ法や蒸着法などによって、薄膜形成することにより形成された感磁部12、および感磁部12の両端部に接合されているCuなどの導電性材料により形成された電極部13、13によって構成されている。感磁部12は、略正方形または楕円状にパターン形成されている。なお、図29の感磁部12の素子長を l とし、素子幅を W とする。

【0006】図30は、従来の磁気インピーダンス効果素子を用いて構成した磁界検出回路を示す回路図である。図30に示す回路において、感磁部12に電源EaからMHz帯域の交流電流Iacを印加している状態cで、感磁部12の素子長方向に外部磁界Hoxが印加されると、感磁部12両端に素子固有のインピーダンスによる出力電圧Emiが発生し、出力電圧Emiの振幅が外部磁界Hoxの強度に対応して数10%の範囲で変化する。

【0007】
【発明が解決しようとする課題】従来の磁気インピーダンス効果素子では、感磁部12が単層の軟磁性薄膜からなっている。駆動交流電流は、感磁部12の中を流れ、

【0008】しかし、感磁部12を形成する軟磁性薄膜は、比抵抗の高い材料によって形成されることが多く、直流電流損失が大きくなる傾向があった。また、軟磁性薄膜が比抵抗の高い材料によって形成されると、駆動交流電流が流れるとききの表皮効果が厚くなく、感磁部12に外部磁界が印加されたときの、インピーダンスの変化が小さくなる。従って、特に駆動

電圧が低いとき充分な出力電圧の変化量を得ることができなかつた。その結果、磁界に対する充分な出力変化量を得ることができず、境界検出感度が小さくなるという問題が生じていた。

【0009】本発明は、上記従来の課題を解決するためのものであり、前記感磁部を、軟磁性体部と前記軟磁性体部よりも比抵抗の低い導電体部とが接しているものとすることにより、磁気インピーダンス効果素子の比抵抗を低くでき、消費電力を低くでき、かつ駆動電圧が低いときでも充分な出力電圧の変化量を得ることのできる磁気インピーダンス効果素子およびその製造方法を提供することを目的とする。

【0010】
【課題を解決するための手段】本発明は、非磁性材料からなる基板11上に、磁気インピーダンス効果素子を有する感磁部と、前記感磁部に駆動交流電流を流すための電極部とが設けられた磁気インピーダンス効果素子において、前記感磁部は、軟磁性材料で形成された軟磁性体部、前記軟磁性体部よりも比抵抗の低い導電体部とを有し、前記軟磁性体部と前記導電体部とが、少なくとも部分的に接していることを特徴とするものである。

【0011】前記感磁部が、前記軟磁性体部と前記軟磁性体部よりも比抵抗の低い導電体部とが接した構造を有しているとき、この駆動交流電流は前記軟磁性体部内を流れる電流と前記導電体部内を流れる電流とに分れて流れる。その結果、前記駆動交流電流が流れるときの前記感磁部の直流抵抗値が低くなり、磁気インピーダンス効果素子の消費電力を小さくすることができ、

【0012】また、本発明では、前記感磁部が、透磁率の高い前記軟磁性体部と導電率の高い前記導電体部とが接した構造を有しているために、前記感磁部内を流れる駆動交流電流の表皮厚さが薄くなり、直流抵抗値が低くなり、低感度インピーダンス効果を生じさせることができ、低感度電圧であっても磁界に対する充分な出力電圧の変化量を得ることができ、

【0013】本発明の磁気インピーダンス効果素子では、前記感磁部を、前記軟磁性体部と前記導電体部とが交互に積層されているものとすることができ、

【0014】また、前記感磁部の、最上層と最下層が前記軟磁性体部であり、前記最上層と前記最下層の軟磁性体部が、少なくとも素子長方向の端部において磁気的に結合されている。

【0015】なお、特に前記感磁部が前記軟磁性体部と前記導電体部とが交互に積層されたものであるときに、前記感磁部の厚みが厚くなると、駆動力が大きくなって、前記感磁部が基板から剥がれやすくなる。そこで、前記感磁部の上面の素子長方向法を、前記感磁部の底面の素子長方向法より短くすると、駆動力を分散でき、前記感磁部が基板から剥がれることを防止でき、ま

た、前記感磁部を安定した形状に維持できる。例えば、前記感磁部を、前記基板の表面から離れるにつれて、素子長方向法が徐々に短くなるものとして形成することができ、

【0016】また、前記軟磁性体部と導電体部とが絶縁層によって電気的に絶縁され、前記駆動交流電流が前記導電体部のみに流れることが保たしい。

【0017】前記軟磁性体部と導電体部とが絶縁層によって電気的に絶縁され、前記駆動交流電流が前記導電体部のみに流れるとき、前記駆動交流電流による磁気インピーダンス効果を生じさせることができ、より顕著な磁気インピーダンス効果を引き出すことが可能になる。

【0018】また、本発明では、駆動交流電流が与えられたとき、前記感磁部の素子長方向に外部磁界を印加すると、前記感磁部の両端からの出力電圧を最大とする前記外部磁界の大きさの絶対値が400（A/m）以下であることが好ましい。

【0019】駆動交流電流が与えられている前記感磁部の素子長方向に前記外部磁界を印加し、この外部磁界の大きさを最大化させたときの、前記感磁部からの出力電圧の変化率は、出力電圧が最大値となる付近で最も大きくなる。従って、前記感磁部からの出力電圧を最大とする前記外部磁界の大きさを小さくすることができ、と、前記外部磁界の大きさが0付近であるときの、出力電圧の変化率が大きくなる。したがって、感磁部と与えるバイアス電流の大きさを小さくすることができる。

【0020】特に、前記感磁部の両端からの出力電圧を最大とする前記外部磁界の大きさの絶対値が400（A/m）以下になると、磁気インピーダンス効果素子の両端に、成いは磁気インピーダンス効果素子に重ねて、形成された磁性材料からなる磁性体から発生する磁界を、バイアス電流として用いることが可能になる。

【0021】また、バイアス電流を前記感磁部の両端に巻回すコイルによって与える場合でも、前記コイルの巻回数が少なくなると、感磁部を製造する際の工程を簡略化することができるようになる。

【0022】また、磁気インピーダンス効果素子を磁気ヘッドや磁気記録装置に適用する際に必要な小型化も容易になる。

【0023】さらに、前記バイアス電流を生じさせるために前記コイルに与える直流電流も小さくすることができ、磁気インピーダンス効果素子の消費電力も容易になる。

【0024】なお、上記感磁部は、通常、略正方形もしくは長方形に形成されるが、U字型や、つづら折れ状に形成してもよい。このときの素子長方向とは、前記感磁部の中のものとも長い直線部分の延長方向であり、駆動交流電流によって発生する世界の磁場方向に対して垂直な方向に一致する。

【0025】また、前記感磁部の両端からの出力電圧を

最大とする前記外部磁界の大きさの絶対値が320（A/m）以下であることが好ましく、より好ましくは、前記感磁部の両端からの出力電圧を最大とする前記外部磁界の大きさの絶対値が160（A/m）以下であることである。

【0026】また、本発明では、前記感磁部の素子幅 W と素子長さ l の比（アスペクト比） W/l が、0.1以下であることが好ましい。

【0027】本発明の発明者は、磁気インピーダンス効果素子の感磁部を形成するときに、前記感磁部の素子幅 W と素子長さ l の比（アスペクト比） W/l を小さくしていくと、磁気インピーダンス効果素子の境界検出感度が向上することを発見した。特に、前記アスペクト比が、0.1以下になると、磁気インピーダンス効果素子の境界検出感度が著しく向上することを見出した。

【0028】前記感磁部は高周波数の交流電流によって励磁されるので、表皮効果が強く現れる。このとき、前記感磁部の素子幅 W 、素子長さ l 、比抵抗 ρ 、磁場波数 ω 、素子幅方向の透磁率 μ と前記感磁部のインピーダンスの大きさ $|Z|$ との間には、次の（数1）によって示される関係がある。

【数1】
数1 $|Z| = \left(\frac{L \sqrt{\rho \omega}}{2W} \right) \sqrt{\mu}$

（数1）から、前記感磁部の素子幅 W 、素子長さ l 、比抵抗 ρ 、磁場波数 ω を一定としたとき、前記感磁部のインピーダンスの大きさ $|Z|$ は、素子幅方向の透磁率 μ の1/2乗に比例することがわかる。素子長方向に交流電流が与えられ、素子幅方向に励磁されている前記感磁部の素子長方向に、外部磁界が印加されると、前記感磁部の素子幅方向の透磁率 μ が変化し、前記感磁部のインピーダンスの大きさ $|Z|$ が変化する。この、前記感磁部のインピーダンスの大きさ $|Z|$ の変化を測定することにより、前記感磁部に印加された前記外部磁界を検知する。

【0030】アスペクト比 W/l が小さくなると、素子幅方向の透磁率 μ の変化に対するインピーダンスの大きさ $|Z|$ の変化率が大きくなる。すなわち、前記感磁部の両端から引き出される出力電圧の大きさの変化が大きくなり、磁気インピーダンス効果素子の境界検出感度が向上する。

【0031】また、前記感磁部の素子幅 W と素子長さ l の比（アスペクト比） W/l が、0.05以下であることが好ましく、より好ましくは、前記感磁部の素子幅 W と素子長さ l の比（アスペクト比） W/l が、0.03以下であることである。

【0032】なお、前記感磁部がU字型、つづら折れ状に形成される場合には、前記感磁部の素子長方向を向いた部位の長さの総和が素子長さ l となる。このときの

素子長手方向とは、前記磁芯部のうちの最も長い直線部分の延長方向であり、駆動交流電流によって発生する磁界の磁化方向に対して垂直な方向に一致する。

【0033】また、本発明では、前記軟磁性体部は、単磁区構造或いは多磁区構造を有し、各磁区において磁気モーメントの素子長手方向の成分と素子幅方向の成分を比較したときに、前記素子長手方向の成分の方が大きい磁区の総面積と、前記素子幅方向の成分の方が大きい磁区の総面積が等しいことが好ましい。

【0034】前記軟磁性体部が、単磁区構造或いは多磁区構造を有し、各磁区において磁気モーメントの素子長手方向の成分と素子幅方向の成分を比較したときに、前記素子長手方向の成分の方が大きい磁区の総面積と、前記素子幅方向の成分の方が大きい磁区の総面積が等しくなっているとき、前記軟磁性体部の、全体としての磁気異方性の方向がほぼ等方的な状態になる。

【0035】つまり、前記軟磁性体部の磁気モーメントがある方向に固定されにくくなり、前記軟磁性体部を有する前記磁芯部が交流電流によって駆動されたときに、軟磁性体部の磁気モーメントの方向を変化させやすくなる。すなわち、軟磁性体部の素子幅方向の透磁率 μ が増加し、前記外部磁界を印加しないときに、軟磁性体部の素子幅方向の透磁率 μ が最大値をとるとき、軟磁性体部のインピーダンスの大きさ z が最大となり、前記磁芯部両端からの出力電圧も最大になる。すなわち、前記磁芯部の両端からの出力電圧を最大にさせる外部磁界の大きさの絶対値が0に近くなる。

【0036】あるいは、本発明では、前記磁芯部を構成する軟磁性体部は、単磁区構造或いは多磁区構造を有し、各磁区において磁気モーメントの素子長手方向の成分と素子幅方向の成分を比較したときに、前記素子長手方向の成分の方が大きい磁区の総面積と、前記素子幅方向の成分の方が大きい磁区の総面積が等しいことが好ましい。

【0037】前記軟磁性体部の各磁区において、磁気モーメントの素子長手方向の成分と素子幅方向の成分を比較したときに、前記素子長手方向の成分の方が大きい磁区の総面積より大きい場合においても、前記磁芯部を構成する軟磁性体部の磁気異方性の方向を全体として等方的な状態に近い状態にすることができ、前記素子幅方向の成分の方が大きい磁区の総面積と、前記素子長手方向の成分の方が大きい磁区の総面積とが等しい磁区構造の磁芯部を有する磁気インピーダンス効果素子と同等の境界抽出部を得ることができる。

【0038】また、前記磁芯部を構成する軟磁性体部の磁気異方性の方向が全体として等方的な状態に近い状態であると、前記磁芯部の素子長手方向にわずかに外部磁界を印加するだけで、前記軟磁性体部の磁気異方性の方

向を全体としてほぼ等方的な状態にさせることができ、前記磁芯部の素子幅方向の透磁率 μ を最大にさせることができ、さらに前記磁芯部の両端からの出力電圧を最大にさせることができる。すなわち、前記磁芯部の両端からの出力電圧を最大にさせる外部磁界の大きさの絶対値を小さくさせることができる。

【0039】また、本発明の磁気インピーダンス効果素子が、前記磁芯部の素子長手方向と平行な方向にバイアス磁界を印加する磁性体があるものであって、製造工程を簡略化でき、小型化が容易で、かつ消費電力を少なくすることができるので好ましい。

【0040】前記磁気インピーダンス効果素子の磁芯部は、軟磁性特性を備えた強磁性体を有することが必要である。また、1MHz～数百MHzの高周波領域において透磁率 μ が高くなてはならない。さらに、外部磁界（放送電波の境界成分）によって軟磁性体に応力が加わって磁気特性が劣化しないように、磁歪定数 λ が小さいことが好ましい。

【0041】前記軟磁性体が、このような性質を備えた強磁性体として形成されるために、前記軟磁性体が以下に示すような微結晶軟磁性合金薄膜として形成されることが好ましい。

【0042】1. 組成式が、 $F_{0.1}M_{0.9}O$ で表され、7モルファス構造を主体とした微結晶軟磁性合金薄膜、
【0043】ただし、Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Wと希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、 h 、 i 、 j は a 、 t で、 $45 \leq h \leq 70$ 、 $5 \leq i \leq 30$ 、 $10 \leq j \leq 40$ 、 $h+i+j=100$ の関係を満足するもの。

【0044】Fは大きい飽和磁束密度B₀を得るためのものであり、MはOと化合し、比抵抗 ρ を大きくするためのものである。h、i、jが上記範囲であると、飽和磁束密度B₀、比抵抗 ρ 、透磁率 μ が大きい軟磁性合金を得ることができ、h、i、jが上記範囲を外れると、軟磁性特性が劣化する。

【0045】なお、上記磁区において元素Mが希土類元素から選ばれる1種あるいは2種以上の元素である場合には、h、jは a 、 t で $50 \leq h \leq 70$ 、 $10 \leq j \leq 30$ であることがより好ましい。

【0046】2. 組成式が、 $(Co_{1-a}Tc)_xMyX_2O_y$ で表される微結晶軟磁性合金薄膜、ただし、元素Tは、Fe、Niのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、Si、P、C、W、B、Al、Ga、Geと希土類元素から選ばれる1種または2種以上の元素であり、Xは、Au、Ag、Cu、Ru、Rh、Os、Ir、Pt、Pdから選ばれる1種あるいは2種以上の元素であり、組成比は、 a が、 $0 \leq a \leq 0.7$ 、 x 、 y 、 z 、 w は a 、 t で、 $3 \leq y \leq 30$ 、 $0 \leq z \leq 2$ 、 $0.7 \leq w \leq 40$ 、 $20 \leq y+z+w \leq 60$ の関係を満

足し、残部がxであるもの。

【0047】なお、軟磁性合金は、元素Mの酸化物を多量に含む7モルファス相に、Coと元素Tを主体とする微結晶相が混在し、さらに微結晶相は、元素Mの酸化物を含んだ構造を有するものであるとより好ましい。

【0048】3. 組成式が、 $Ti_{100-d-e-f-g}M_dM_eZfQ_g$ で表され、 $bcc-Fe$ 、 $bcc-FeCo$ 、 $bcc-Co$ の1種または2種以上の結晶粒を主体とした微結晶軟磁性合金薄膜、

【0049】ただし、元素Tは、Fe、Coのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Xは、S、I、Alのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、Wから選ばれる1種または2種以上の元素であり、元素Zは、C、Nのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、Qは、Cr、Re、Ru、Rh、Ni、Pd、Pt、Auから選ばれる1種または2種以上の元素であり、d、e、f、gは a 、 t で、 $0 \leq d \leq 2$ 、 $5 \leq e \leq 10$ 、 $0 \leq f \leq 15$ 、 $0 \leq g \leq 100$ の関係を満足するもの。

【0050】d、e、f、gが上記範囲内であれば、透磁率 μ が大きく、比抵抗 ρ も低く、磁歪定数 λ も小さい軟磁性合金薄膜を得ることができる。

【0051】4. 組成式が、 $Ti_{100-p-q-r-f-g}Si_pAl_qMgZrO_gCo$ で表され、 $bcc-Fe$ 、 $bcc-FeCo$ 、 $bcc-Co$ の1種または2種以上の結晶粒を主体とした微結晶軟磁性合金薄膜、

【0052】ただし、元素Tは、Fe、Coのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、元素Mは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、Wから選ばれる1種または2種以上の元素であり、元素Zは、C、Nのうちどちらか一方あるいは両方を含む元素であり、Qは、Cr、Re、Ru、Rh、Ni、Pd、Pt、Auから選ばれる1種または2種以上の元素であり、p、q、e、f、gは a 、 t で、 $8 \leq p \leq 15$ 、 $0 \leq q \leq 10$ 、 $1 \leq e \leq 10$ 、 $0 \leq f \leq 15$ 、 $0 \leq g \leq 10$ の関係を満足するもの。

【0053】p、q、e、f、gが上記範囲内であれば、透磁率 μ が大きく、比抵抗 ρ も低く、磁歪定数 λ も小さい軟磁性合金を得ることができる。
【0054】また、前記磁芯部が、以下に示すような非晶質軟磁性合金薄膜または薄層を有するものとして形成されていてもよい。

【0055】5. 組成式が、 $(F_{0.1-a}Co)_x100-x-y(Si_{1-b}B)_yM_y$ で示される非晶質軟磁性合金薄膜または薄層、

【0056】ただし、Mは、Cr、Ruのうちいずれか一方、あるいは両方を含む元素であり、組成比を表すa、bは $0 \leq a \leq 0.1$ 、 $0 \leq b \leq 0.8$ であり、x、yは a 、 t で、 $10 \leq x \leq 35$ 、 $0 \leq y \leq 7$ の関

係を満足するもの。

【0057】前記 $(F_{0.1-a}Co)_x100-x-y(Si_{1-b}B)_yM_y$ 系の軟磁性合金薄膜又は薄層では、 a が、 $0 \leq a \leq 0.1$ の範囲を超えると、比抵抗 ρ が大きくなるので好ましくない。また、bが、 $0 \leq b \leq 0.8$ の範囲を超えると、非晶質化が困難になり好ましくない。さらに、xが $10 \leq x \leq 35$ の範囲を超えると非晶質化が困難になり好ましくない。また、 $x > 35$ であると磁気特性が劣化するので好ましくない。

【0058】6. 組成式が、 $Co(TaHf)_n$ で表され、7モルファス構造を主体とした非晶質軟磁性合金薄膜、

【0059】ただし、l、m、nは a 、 t で、 $70 \leq l \leq 90$ 、 $5 \leq m \leq 21$ 、 $6 \leq n \leq 15$ 、 $1 \leq m/n \leq 2.5$ の関係を満足するもの。

【0060】前記 $Co(TaHf)_n$ 系の軟磁性合金薄膜においては、飽和磁束密度B₀はCoの含有量に依存しており、高い飽和磁束密度B₀を得るには、 $70 \leq l$ であることが必要である。しかし、 $l > 90$ であると、比抵抗 ρ が低くなるので好ましくない。

【0061】TaおよびHfは軟磁性特性を得るための元素であり、 $5 \leq m \leq 21$ 、 $6 \leq n \leq 15$ とするこにより、飽和磁束密度B₀が大きくなり、比抵抗 ρ も大きい軟磁性材料を得ることができる。また、Hfは、Co-Ta系において発生する負の磁歪定数を解消するための元素でもある。磁歪定数は、Taの含有量とHfの含有量の比に依存し、 $1 \leq m/n \leq 2.5$ の範囲内であると、磁歪定数を良好に解消することができる。

【0062】7. 組成式が、 Co_2ZrNbB_g で表される7モルファス構造を主体とした非晶質軟磁性合金薄膜、

【0063】ただし、a、b、cは a 、 t で、 $78 \leq a \leq 91$ 、 $0 \leq b \leq 0.8$ の関係を満足するもの。

【0064】飽和磁束密度B₀はCoの濃度に依存し、B₀を大きくするためには、 $78 \leq a \leq 91$ にする必要がある。a>91であると、耐食性が低下すると共に7モルファス構造になりにくくなり、結晶化し始めるので好ましくない。また、a<78であると、Coとうしが隣接する割合が減り、軟磁性特性を示しにくくなるので好ましくない。透磁率 μ も、Coの濃度に依存し、 $78 \leq a \leq 91$ の範囲で高い値を示す。

【0065】また、本発明の磁気インピーダンス効果素子の製造方法は、(a)非磁性材料からなる基板に、軟磁性薄膜と前記軟磁性薄膜より大きい比抵抗の低い導電性薄膜を交互に成膜する工程と、(b)前記(a)の工程で形成された多層膜から磁芯部をパターン形成する工程と、(c)前記磁芯部を、この磁芯部の素子幅方向の静磁場中で熱処理する工程と、を有することを特徴とするものである。

る平均結晶粒径10～30nmの結晶相とMの酸化物を含む非晶質相からなり、非晶質相が組織全体の50%以上を占めている微結晶軟磁性合金薄膜として、軟磁性薄膜2.2、2.4が形成されている。

【0099】あるいは、 Fe-Co-Si-B-M 系(Mは、Cr、Ruのうちのいずれか一方あるいは両方を含む元素)の非晶質軟磁性合金薄膜や、 Co-Ta-H 系の非晶質軟磁性合金薄膜や、 Co-Zr-Nb 系の非晶質軟磁性合金薄膜として、軟磁性薄膜2.2、2.4が形成されている。

【0100】導電性薄膜2.3は、Cu、Ni、Ti、Crなどの導電性材料により形成される。また、導電性薄膜2.3を形成するために用いる材料は、軟磁性薄膜2.2、2.4より比抵抗の低い材料であれば、どのようなものでもかまわない。例えば、Fe、Coを含む強磁性材料であっても、NiO、CoOなどの反強磁性材料であってもよい。ただし、導電性薄膜2.3を形成するために用いる材料の比抵抗は、軟磁性薄膜2.2、2.4を形成するために用いる材料の比抵抗の1/10以下の比抵抗の材料であることが好ましい。

【0101】本実施の形態では、軟磁性薄膜2.5が軟磁性薄膜2.2、2.4と導電性薄膜2.3とが交互に積層されたものとして形成されている。軟磁性材料よりも比抵抗の低い材料によって形成された導電性薄膜2.3とが接した積造を有している。軟磁性薄膜2.3とが接した積造を有している。軟磁性薄膜2.5に駆動交流電流が与えられたときに、この駆動交流電流は軟磁性薄膜2.2、2.4内を流れる電流と導電性薄膜2.3内を流れる電流とに分れて流れる。その結果、前記駆動交流電流が流れるときの軟磁性薄膜2.5の直流抵抗値が低くなり、磁気インピーダンス効果素子の消費電力を小さくすることができる。

【0102】また、軟磁性薄膜2.5が、透磁率の高い軟磁性薄膜2.2、2.4と導電率の高い導電性薄膜2.3とが接した積造を有しているために、前記軟磁性部内を流れる駆動交流電流の表皮厚さが薄くなり、大きな磁気インピーダンス効果を生じさせることができる。従って、低駆動電圧であっても境界に対する充分な出力電圧の変化量を得ることができる。

【0103】図2は、本発明の第2の実施の形態の磁気インピーダンス効果素子の磁気部の断面図である。

【0104】図2の磁気インピーダンス効果素子は、アルミニウムカーバイドなどの非磁性材料からなる基板2.1上に、軟磁性部である軟磁性薄膜3.2、導電性部である導電性薄膜3.3、及び軟磁性薄膜3.4が順次積層されて形成された軟磁性部3.5を有している。本実施の形態では、軟磁性部3.5の、最上層の軟磁性薄膜3.4と最下層の軟磁性薄膜3.2とが、素子幅方向の端部において磁気的に結合されており、軟磁性部3.5に駆動交流電流が流れたときに、軟磁性薄膜3.4と軟磁性薄膜3.2に閉じた周回境界が発生させることができる。

性体部である軟磁性薄膜6.2、導電性部である導電性薄膜6.3、軟磁性薄膜6.4、導電性薄膜6.5、軟磁性薄膜6.6が順次積層されて形成された軟磁性部6.7を有した磁気インピーダンス効果素子でもよい。

【0116】なお、最上層の軟磁性薄膜6.6と最下層の軟磁性薄膜6.2とが、素子幅方向の端部において磁気的に結合されている。また、軟磁性部6.7が基板2.1の表面2.1aから露れるにつれて、素子幅方向(Y方向)寸法が徐々に短くなるものとして形成されてもよい。

【0117】図6は、本発明の第6の実施の形態の磁気インピーダンス効果素子の磁気部の断面図である。

【0118】本発明では、必ずしも、軟磁性部の導電性薄膜が、複数の軟磁性薄膜によって挟まれていなくてもよい。

【0119】例えば、図6のように、アルミニウムカーバイドなどの非磁性材料からなる基板2.1上に、軟磁性薄膜7.2及び導電性薄膜7.3のみが順次積層されて形成された軟磁性部7.4を有した磁気インピーダンス効果素子でもよい。

【0120】なお、軟磁性部3.5、4.5、5.5、6.7、及び7.4の両端部に、軟磁性の素子長手方向(Y方向)に駆動交流電流を与えるための電極部が、Cu、Ni、Ti、Crなどの導電性材料により形成される。軟磁性部3.5、4.5、5.5、6.7、及び7.4は、略長方形形状または線状にパターン形成されている。または、軟磁性部3.5、4.5、5.5、6.7、及び7.4は、U形状またはジグザグ形状に形成されてもよい。

【0121】軟磁性部3.5、4.5、5.5、6.7、及び7.4の素子長手方向(Y方向)に駆動交流電流を与え、素子幅方向(X方向)に磁化する。この状態で、外部境界H ϕ xが素子長手方向に印加されると、軟磁性部3.5、4.5、5.5、6.7、及び7.4のインピーダンスが変化する。軟磁性部3.5、4.5、5.5、6.7、及び7.4のインピーダンス変化を、電極部間の電圧の変化として取り出す。

【0122】なお、軟磁性部3.5、4.5、5.5、6.7、及び7.4上に、絶縁材料からなる保護層が形成されてもよい。

【0123】図7は、本発明の第7の実施の形態の磁気インピーダンス効果素子の斜視図であり、図8は、図7の磁気インピーダンス効果素子を8-8線からみた断面図である。

【0124】図7及び図8の磁気インピーダンス効果素子では、アルミニウムカーバイドなどの非磁性材料からなる基板2.1上に、軟磁性薄膜8.1、絶縁性材料からなる絶縁層8.2、導電性薄膜8.3、絶縁層8.4、軟磁性薄膜8.6が順次積層されて軟磁性部8.6が形成されている。

【0125】軟磁性薄膜8.1と導電性薄膜8.3は、絶縁

層8.2によって電気的に絶縁されている。また、導電性薄膜8.3と軟磁性薄膜8.5は、絶縁層8.4によって電気的に絶縁されている。

【0126】軟磁性部8.6の両端部には、導電性薄膜8.3の素子長手方向(Y方向)に駆動交流電流を与えるための電極部8.7、8.7が、Cu、Ni、Ti、Crなどの導電性材料により形成される。電極部8.7、8.7は導電性薄膜8.3にのみ接続されている。軟磁性薄膜8.1と電極部8.7、8.7は、絶縁層8.2によって電気的に絶縁されている。また、軟磁性薄膜8.5と電極部8.7、8.7は、絶縁層8.4によって電気的に絶縁されている。従って、駆動交流電流は導電性薄膜8.3の外に流される。

【0127】導電性薄膜8.3の素子長手方向(Y方向)に駆動交流電流を与え、素子幅方向(X方向)に磁化する。この状態で、外部境界H ϕ xが素子長手方向に印加されると、軟磁性部8.6のインピーダンスが変化する。軟磁性部8.6のインピーダンス変化を、電極部間の電圧の変化として取り出す。

【0128】駆動交流電流が導電性薄膜8.3の外に流れ、軟磁性薄膜8.1、8.5には流されないようにすると、駆動交流電流による磁化インピーダンス効果を生じることができ、より顕著な磁気インピーダンス効果を引き出すことが可能になる。

【0129】軟磁性部8.6は、略長方形形状または線状にパターン形成されている。または、軟磁性部8.6は、U形状またはジグザグ形状に形成されてもよい。

【0130】図9は、磁気インピーダンス効果素子の磁気部のアスペクト比と、境界突出部との関係を示すグラフである。図9のグラフでは、軟磁性の素子長さを4mmまたは6mmに固定し、素子幅Wを変化させることにより軟磁性部のアスペクト比W/Lを変化させた。図9から明らかになように、軟磁性部のアスペクト比W/Lが0.1以下になると、磁気インピーダンス効果素子の境界突出部が向上することがわかる。特に、軟磁性の素子長さが6mmのときには、軟磁性部のアスペクト比W/Lが約0.08以下になると、さらに、急激に磁気インピーダンス効果素子の境界突出部が向上することがわかる。

【0131】なお、軟磁性部がU字型、つづら折れ状に形成される場合には、前記軟磁性の素子長手方向を向いた部位の長さの総和が素子長さとしてなる。

【0132】本実施の形態では、軟磁性部2.5は、例えば、素子幅Wを0.10mm、素子長さを6mmとし、形成されている。このとき、磁気インピーダンス効果素子Mの軟磁性部2.5のアスペクト比は、 $W/L=0.017$ である。

【0133】図1に示された磁気インピーダンス効果素子Mの、素子長さ6mm、アスペクト比が0.017であると、図9のグラフから、約2.5(mV・m/A) (約200(mV/Oe))もの高感度を有することが

5. 55. 67. 74. 86を形成した後、感磁部3
5. 45. 55. 67. 74. 86の素子幅方向に静磁
場をかける。

【0199】なお、惑磁部35、45、55、67、74、86に含まれる軟磁性項膜を成膜するときに、惑磁部の電子層方向となる方向に静磁場をかけてもよい。このように惑磁中工程を行なったときには、成膜後の静磁場中熱処理の工程を省略することが可能である。または、惑磁中成膜後に、静磁場中熱処理の代りに回転磁場中、または無磁場中熱処理を行なってもよい。

【0200】また、感磁部25、35、45、55、65、74、86をリソ型もしくはつづら折れ状にパターン形成してもよい。感磁部25、35、45、55、65、74、86がリソ型、つづら折れ状に形成される場合には、感磁部25、35、45、55、65、74、86の高子厚方向に向けた部位の長さの総和が素子長さとなる。感磁部25、35、45、55、65、74、86がリソ型やつづら折れ形状で形成されているときは、感磁部25、35、45、55、65、74、86の中心のものとも垂直線部分の延長方向が素子厚方向となり、この方向が駆動交流電流方向によって発生する磁界の励磁方向に対して垂直な方向に一致する。

【0201】感磁部25、35、45、55、67、74、86は、例えば、素子幅Wを0.10mm、素子長さLを6mmとして形成される。このとき、磁気インピーダンス効果素子の感磁部25、35、45、55、67、74、86のアスペクト比は、 $W/L=0.017$ である。

【0202】このとき、磁気インピーダンス効果素子の形成後、感磁部25、35、45、55、67、74、86の素子長手方向に、駆動交流電流を与之与つて外部磁界を印加したときに、感磁部25、35、45、55、67、74、86の両端からの出力電圧を最大とする外部磁界の大きさの絶対値は、400(A/m)以下になる。

【0203】磁石部25、35、45、55、67、74、86の成分を、静置環境で行わせることにより、磁石部25、35、45、55、67、74、86に含まれる磁性物質の、素子長手方向(X方向)の形状異方性(異方性エネルギー)と素子幅方向(Y方向)の磁気異方性(異方性エネルギー)とをほぼつり合わせる事ができる。すなわち、図13に示されるように、素子長手方向の成分の方向が、図14に示される磁区22bの磁面積が、前記素子幅方向の成分の方向が大きい磁区である磁区22aの磁面積より、前記素子幅方向の成分の方向が大きい磁区である磁区22bの磁面積を有するもの、あるいは、図14に示されるように、素子長手方向の成分の方向が大きい磁区である磁区22bの磁面積が、前記素子幅方向の成分の方向が大きい磁区である磁区22aの磁面積より、大きい磁区を持つものが得られる。

【0204】図20は、本実施の形態において用いられ

ビームスバツタ装置、または対向ターゲツト式スバツタ装置など既存のものを任意に使用してよい。

【0216】また、本発明における軟磁性薄膜、導電性薄膜の成膜方法には、スパッタ法の他に蒸着法、MBE（モレキュラービームエピタキシー）法、ICB（イオンークラスタースービーム）法またはメッキ法などを使用してもよい。

【0216】また、感磁部25を、軟磁性誘導を用いて形成する場合には、例えば、図21に示す法は急冷装置Cを用いる。

【0217】まず、Fe-Co-Si-B系の軟磁性材料が、石英からなるノズル111に投入され、ノズル111の周囲に敷かれたヒータ112により加熱され、熔融される。この熔融合金113をノズルの上部からえらわれた圧力により高速回転している冷却ロール114上に射出させて連続急冷することにより、軟磁性薄帯115を形成する。

【0218】得られた軟磁性帯115を素子端Wと素子裏さしの出（アスペクト比） W/L が、0.1以下になるように、略長方形に切断する。この軟磁性帯115の少なくとも一方の面に、導電性薄膜を、スパッタ、蒸着などの方法により形成する。

【0219】次に、基板上に順次前記導電性薄膜を積層した軟磁性導帯を少なくとも2枚以上接層積層して感磁部を形成した後、この感磁部を素子端方向の許出溝中で熱処理にかける。

【0220】さらに、前記感磁部の両端部に電極部を形成すると、図1のような磁気インピーダンス効果素子が得られる。

【0221】図2から図25は、図1の磁気インピーダンス効果素子の感磁部25の軟磁性薄膜24をカーボン黒光顔顔料によって観察し、写真撮影したものの模式図である。

【0222】図222は、感磁部225を素子長手方向（X方向）の長さ $L=2mm$ 、素子幅方向（Y方向）の長さ $W=100\mu m$ 、すなわちアスペクト比 $L/W=0.05$ として形成した感磁部224の山区構造を示している。また、図23及び図24は、感磁部225を素子長手方向の長さ $L=4mm$ 、素子幅方向寸法 $W=100\mu m$ 、すなわちアスペクト比 $L/W=0.04$ として形成した感磁部224の山区構造を示している。

【0223】図22及び図23では、素子幅方向に磁気モーメントが配向している出区の総面積と、素子長手方向に出磁モーメントが配向している出区の総面積が倍対向している状態になっており、素子幅方向と素子長手方向の磁気異方性エネルギーが二つり合っており、磁気異方性の方向が全体としてほぼ等方的な状態になっている。

【0224】また、図24では、素子長手方向に磁気モーメントが配向している磁区の総面積が、素子幅方向に磁気モーメントが配向している磁区の総面積より大きく

なっている。しかし、素子幅方向と素子長手方向の磁気異方性エネルギーがつり合って、磁気異方性の方向が全体としてほぼ等方的な状態になっている。

【0225】つまり、図22から図24に示されたいずれの較正処理関数24においても、磁気メモリーはある方向に固定されにくくなり、交流磁場によって励磁されたときに磁気メモリー方向を固定しやすくなり、たとえ磁気メモリー25の書き方方向の較正率 μ は低い。すなわち、較正磁場25の書き方方向の較正率 μ は増加しており、磁気インピーダンス効果素子の境界線出力電圧を最大にさせる外部磁場の大きさの絶対値を小さくできることができ、必要なバイアス磁場の大きさを小さくできる。

【0226】図25は、磁磁部を素子長手方向（X方向）の長さ $L=4\text{ mm}$ 、素子幅方向（Y方向）の長さ $W=500\text{ }\mu\text{m}$ 、すなわちアスペクト比 $W/L=0.125$ として形成したものの軟磁性薄膜24の磁区構造を示している。

【0227】図25では、素子幅方向に磁気モーメントが配向している磁区が大勢を占めており、磁気異方性の方向が素子幅方向を向いている。

【0228】すなわち、感磁部の素子層方向の透過率は小さく、磁気インピーダンス効果素子の境界抽出感度は小さい。また、感磁部の両端からの出力電圧を最大にさせる外部境界の大きさを総対値も大きく、必要のアース境界も大きくする。

【0229】なお、図22から図25のいずれの感磁部も、FeAlSiHCRu系の組成を有し、bcc-Feの結晶粒を主体とした微結晶軟磁性合金薄膜によって形成され、また感磁部の膜厚は4μmで形成されている。

【0230】また、図22から図25では、図1の胚乳インピンダンス効果素子の感出部25の最上層の敏出性薄膜24の出区構造を示したが、最下層の敏出性薄膜2も同様の出区構造を示した。

【0231】
【実施例】図26及び図27は、図1に示された阻氣インピーダンス効果素子を用いて、阻氣インピーダンス効果特性を測定した結果を示すグラフである。

【0232】図26の磁気インピーダンス効果素子Mの電極部26、26から感磁部25の両端部に駆動交流電流を与えた状態で、外部磁界 H_{ex} を、磁気インピーダンス効果素子Mの素子長方向に印加する。印加した外部磁界 H_{ex} の大きさを変化させつつ、出力電圧 E_{mi} を測定した。

【0233】図26は、惑星部を FeAlSiHfCr 系の相成を有し、bcc-Feの結晶粒を主体とした、惑星部軟磁性合金薄膜によって形成し、惑星部25の素子長手方向の長さを4mm、厚さを4 μm とし、素子短方向寸法を寛化させたときの結果である。

【0234】図26を見ると、磁部25の素子幅方向寸法が $1000\mu\text{m}$ ($W/L=0.25$) 及び $500\mu\text{m}$ ($W/L=0.125$) のときは、外部磁界の大きさを变化させたときに出力電圧の変化がほとんどみられず、磁界センサとして機能していないことが分かる。また、出力電圧を最大にさせる外部磁界の大きさは、 400 A/cm を越えている。

【0235】一方、磁部25の素子幅方向寸法が $100\mu\text{m}$ ($W/L=0.025$) のときは、外部磁界の大きさを变化させたときに出力電圧の変化は、最大で 20 mV 以上となり、高感度な磁界センサとして機能することが分かる。また、出力電圧を最大にさせる外部磁界の大きさの絶対値は、 160 (A/cm) である。

【0236】なお、磁部25の素子幅方向寸法が $100\mu\text{m}$ ($W/L=0.025$) のとき、磁部25を構成する軟磁性薄膜は単結晶構造または多結晶構造を有しており、各磁区において磁気モーメントの素子幅方向の成分と素子幅方向の成分を比較したときに、前記素子幅方向の成分の方が大きい磁区の絶縁面が等しいものであるか、または、前記素子幅方向の成分の方が大きい磁区の絶縁面が、前記素子幅方向の成分の方が大きい磁区の絶縁面より大きくなる。

【0237】図27は、磁部25を FeAlSiHf 、 Cr_2O_3 の組成を有し、 bcc-Fe の結晶粒を主体とした軟結晶軟磁性合金薄膜によって形成し、磁部25の素子幅方向の大きさを 6 mm 、厚さを $4\mu\text{m}$ とし、素子幅方向寸法を变化させたときの結果である。

【0238】図27を見ると、磁部25の素子幅方向寸法が $1000\mu\text{m}$ ($W/L=0.17$) のときは、外部磁界の大きさを变化させたときに出力電圧の変化がほとんどみられず、磁界センサとして機能していないことが分かる。また、出力電圧を最大にさせる外部磁界の大きさの絶対値は、 400 (A/cm) を越えている。

【0239】一方、磁部25の素子幅方向寸法が $50\mu\text{m}$ ($W/L=0.08$) のときは、外部磁界の大きさを变化させたときに出力電圧の変化は、最大で 50 mV 以上となり、磁界センサとして機能できることが分かる。また、出力電圧を最大にさせる外部磁界の大きさの絶対値は、 320 (A/cm) である。さらに、磁部25の素子幅方向寸法が $100\mu\text{m}$ ($W/L=0.01$) のときは、外部磁界の大きさを变化させたときに出力電圧の変化は、最大で 600 mV 以上となり、非常に高感度な磁界センサとして機能できることが分かる。また、出力電圧を最大にさせる外部磁界の大きさの絶対値は、 $0\sim24\text{ (A/cm)}$ である。

【0240】なお、磁部25の素子幅方向寸法が $500\mu\text{m}$ または $100\mu\text{m}$ のとき、磁部25を構成する軟磁性薄膜は、単結晶構造または多結晶構造を有しており、各磁区において磁気モーメントの素子幅方向の成

分と素子幅方向の成分を比較したときに、前記素子幅方向の成分の方が大きい磁区の絶縁面と、前記素子幅方向の成分の方が大きい磁区の絶縁面が等しいものであるか、または、前記素子幅方向の成分の方が大きい磁区の絶縁面が、前記素子幅方向の成分の方が大きい磁区の絶縁面より大きくなる。

【0241】図28は、磁部25の素子幅方向寸法の大きさを 3 mm に固定し、素子幅方向寸法を様々な磁気インピーダンス効果素子を用いて、磁部25のアスペクト比と外部磁界を印加したときの出力電圧の変化量との関係を示すグラフである。

【0242】図28に示される出力電圧の変化量は、外部磁界を 320 (A/cm) 変化させたときの電圧変化量である。

【0243】磁気インピーダンス効果素子を磁界センサとして使用する際には、図28のグラフにおける出力変化量を 100 mV 以上とすることが好ましい。したがって、磁部25のアスペクト比 (W/L) を 0.004 以上にすることが好ましいことがわかる。

【0244】なお、図28において出力変化量が最大値をとるときの、磁部25のアスペクト比は 0.017 である。

【0245】【発明の効果】以上、詳細に説明した本発明によれば、磁気インピーダンス効果素子の前記磁部が、前記軟磁性体部と前記軟磁性体部よりも比抵抗の低い導電体部とが接した構造を有しているため、前記磁部に駆動電流が流れたときに、この駆動電流は前記軟磁性体部内を流れる電流と前記導電体部内を流れる電流とに分れて流れ、前記駆動電流が流れるときの前記軟磁性部の直流抵抗値が低くなり、磁気インピーダンス効果素子の消費電力を小さくすることができる。

【0246】また、本発明では、前記磁部が透磁率の高い軟磁性体部と導電率の高い導電体部とが接した構造を有しているために、前記磁部内を流れる駆動電流の表皮厚さが薄くなり、大きな磁気インピーダンス効果を生ぜさせることができる。従って、低駆動電圧であっても磁界に対する充分な出力電圧の変化量を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態を示す磁気インピーダンス効果素子の斜視図。
【図2】本発明の第2の実施の形態を示す磁気インピーダンス効果素子の断面図。
【図3】本発明の第3の実施の形態を示す磁気インピーダンス効果素子の断面図。
【図4】本発明の第4の実施の形態を示す磁気インピーダンス効果素子の断面図。
【図5】本発明の第5の実施の形態を示す磁気インピーダンス効果素子の断面図。

【図6】本発明の第6の実施の形態を示す磁気インピーダンス効果素子の断面図。

【図7】本発明の第7の実施の形態を示す磁気インピーダンス効果素子の斜視図。

【図8】本発明の第7の実施の形態を示す磁気インピーダンス効果素子の断面図。

【図9】磁気インピーダンス効果素子の磁部のアスペクト比と、磁界検出感度の関係を示すグラフ。

【図10】磁気インピーダンス効果素子の磁部のアスペクト比と、磁部の面積からの出力電圧 E_{out} を最大とする外部磁界の大きさの絶対値 H_p との関係を示すグラフ。

【図11】本実施の形態の磁気インピーダンス効果素子の磁気インピーダンス効果特性を示す概略図。

【図12】磁気インピーダンス効果素子の磁部の磁区構造を示す概念平面図。

【図13】磁気インピーダンス効果素子の磁部の磁区構造を示す概念平面図。

【図14】磁気インピーダンス効果素子の磁部の磁区構造を示す概念平面図。

【図15】本発明の磁気インピーダンス効果素子の実施の形態として、パイアス境界を与える硬磁性体層が設けられた磁気インピーダンス効果素子を示す断面図。

【図16】本発明の磁気インピーダンス効果素子が設けられた磁気インピーダンス効果素子を示す断面図。

【図17】本発明の磁気インピーダンス効果素子の実施の形態として、パイアス境界を与える反強磁性層が設けられた磁気インピーダンス効果素子を示す断面図。

【図18】アルミニウムカーバイドなどの非磁性材料からなる基板に、磁部となる軟磁性薄膜と導電性薄膜を成膜した状態を示す斜視図。

【図19】図18の多層膜をフォトリソグラフィおよびエッチングによって、パターン形成して磁部を形成した状態を示す斜視図。

【図20】本発明の磁気インピーダンス効果素子の製造方法を実施するために用いることができるRFマグネトロンスパッタ装置の断面図。

【図21】軟磁性薄膜を形成するための液体急冷装置を示す斜視図。

【図22】本発明の磁気インピーダンス効果素子の磁部をカー効果偏光顕微鏡によって観察し、写真撮影したものの模式図。

【図23】本発明の磁気インピーダンス効果素子の磁部をカー効果偏光顕微鏡によって観察し、写真撮影したものの模式図。

【図24】本発明の磁気インピーダンス効果素子の磁部をカー効果偏光顕微鏡によって観察し、写真撮影したものの模式図。

【図25】本発明の磁気インピーダンス効果素子の磁部をカー効果偏光顕微鏡によって観察し、写真撮影したものの模式図。

【図26】本発明の磁気インピーダンス効果素子の磁気インピーダンス効果特性の実測値を示すグラフ。

【図27】本発明の磁気インピーダンス効果素子の磁気インピーダンス効果特性の実測値を示すグラフ。

【図28】磁気インピーダンス効果素子の磁部のアスペクト比と出力変化量との関係を示すグラフ。

【図29】従来の磁気インピーダンス効果素子を示す斜視図。

【図30】磁気インピーダンス効果素子に駆動電流電流を与え、外部磁界を印加する方法を示す回路図。

【符号の説明】
21 基板
22、24、32、34、42、44、52、54、62、64、66、72、81、85 軟磁性薄膜
23、33、43、53、63、65、73、83 導電性薄膜
25、35、45、55、65、67、74、86 磁部
26、87 電極部

【図3】

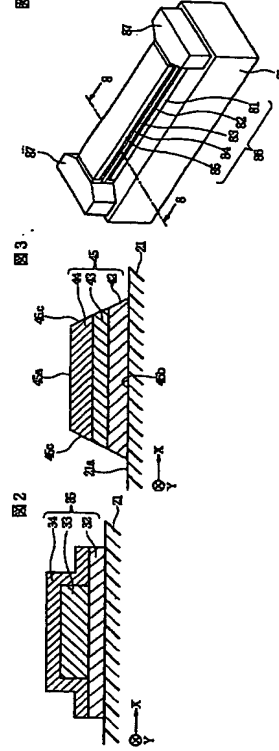
【図2】

【図7】

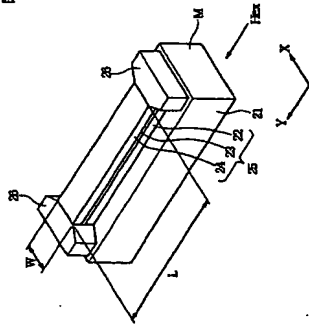
図7

図2

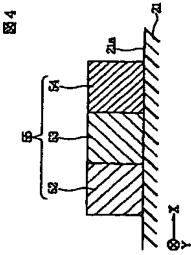
図3



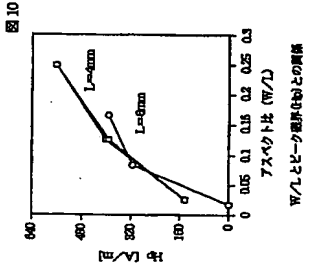
【図1】



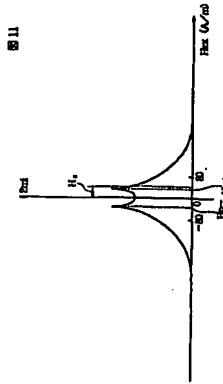
【図4】



【図10】

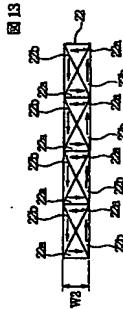


【図11】

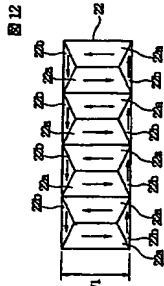


W/Lとビーク幅との関係

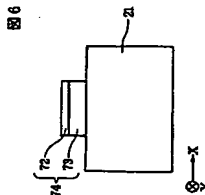
【図13】



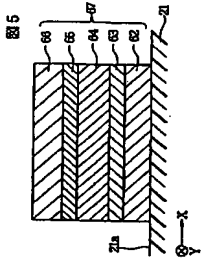
【図12】



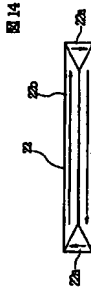
【図6】



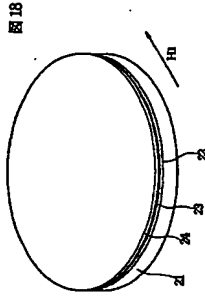
【図5】



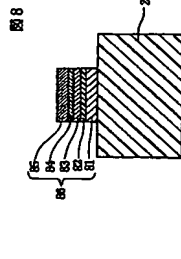
【図14】



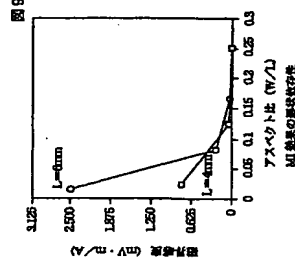
【図18】



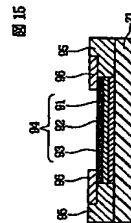
【図8】



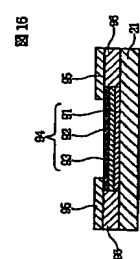
【図9】



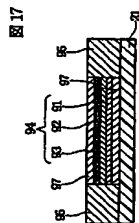
【図15】



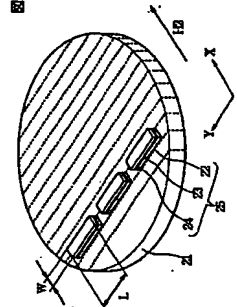
【図16】



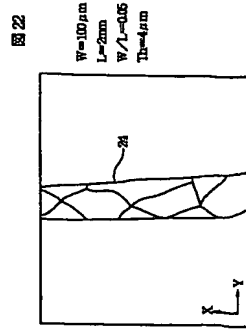
【図17】



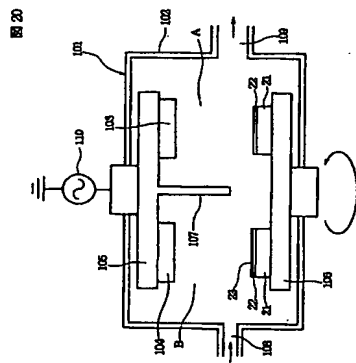
【図19】



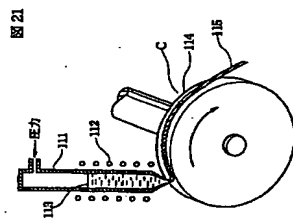
【図22】



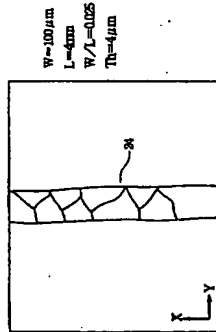
【例20】



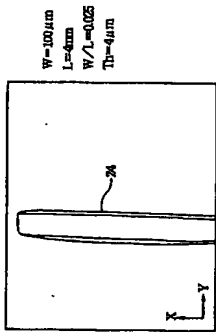
【21】



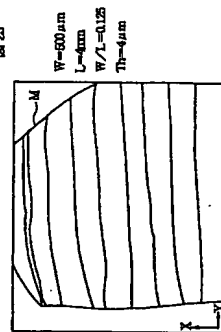
【23】



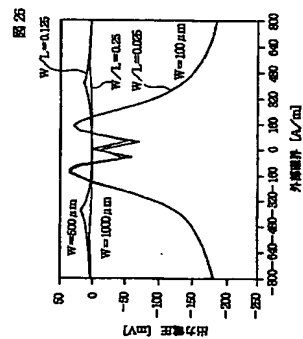
【图24】



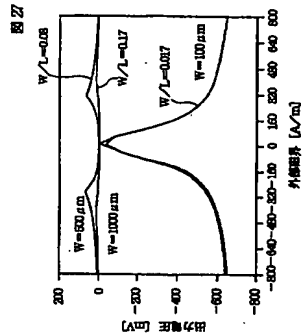
【圖25】



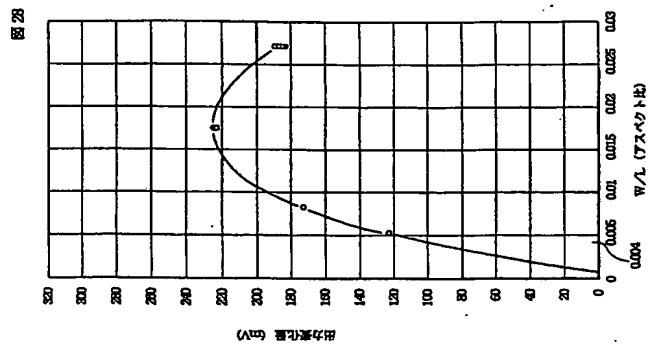
【例26】



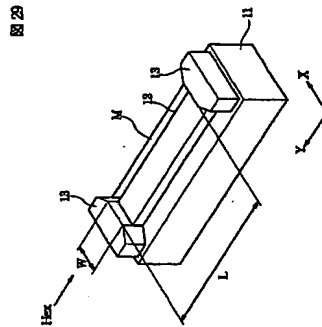
【图27】



【圖29】



【030】



30

